



## Etude de la réactivité des ciments en fonction de la dimension des particules et de la teneur en C3A

V. Saint-Etienne, Gérard Thomas, Anne-Marie Vernay

### ► To cite this version:

V. Saint-Etienne, Gérard Thomas, Anne-Marie Vernay. Etude de la réactivité des ciments en fonction de la dimension des particules et de la teneur en C3A. Journées de Calorimétrie d'Analyse Thermique et de Thermodynamique Chimique, Oct 1986, Ferrare, Italie. Università degli Studi di Ferrara, Volume XVII, pp.254-258, 1986. <hal-00785277>

**HAL Id: hal-00785277**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00785277>**

Submitted on 5 Feb 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ETUDE DE LA REACTIVITE DES CEMENTS EN FONCTION DE LA DIMENSION  
DES PARTICULES ET DE LA TENEUR EN C<sub>3</sub>A

\* V. Saint-Etienne

Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie des liants  
Hydrauliques

23, Rue de Cronstadt - 75015 PARIS - FRANCE

\* G. Thomas, A.M. Roger

Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne

158, Cours Fauriel - 42023 SAINT-ETIENNE Cedex 02 - FRANCE

L'amélioration des propriétés mécaniques des ciments a toujours été un souci constant. Il est vite apparu qu'en augmentant la finesse de la poudre que constitue le ciment, on obtenait de meilleures résistances mécaniques. La réactivité d'un ciment dépend de ses dimensions, de la façon dont cette dimension a été obtenue, mais aussi de sa composition minéralogique et en particulier de sa teneur en aluminate tricalcique.

La réactivité de deux types de ciment, l'un à basse teneur en C<sub>3</sub>A (3 %), noté (B), l'autre noté (H) à haute teneur (13 %) a été suivie par la mesure de flux de chaleur, à l'aide d'un calorimètre "thermanalyse", sur échantillons de pâte pure, gâchés avec un rapport eau sur ciment égal à 0,8.

Les deux clinkers B et H ont été broyés selon trois modes différents (boulets : B, meules : M, projection : P). Les produits obtenus ont été analysés soit tels quels (0), soit après séparation en fractions granulométriques inférieures à 10 micromètres (1) comprises entre 10 et 30 micromètres (2) ou supérieures à 30 micromètres (3), après qu'un gypsage au taux optimal ait été réalisé.

De plus, aux échéances 1, 2, 7 et 28 jours, des mesures de diffraction des rayons X, de perte au feu et de résistances mécaniques ont été effectuées sur chacun de ces lots pour suivre l'évolution de l'hydratation.

Il apparaît que la quantité de chaleur,  $-\Delta H$ , mise en jeu lors de l'hydratation augmente considérablement quand il s'agit de particules fines inférieures à 10 micromètres (1) et ce quels que soient le broyeur et la teneur du clinker en C<sub>3</sub>A,  $\Delta H$  est approximativement proportionnel à l'inverse du rayon des grains. L'enthalpie est supérieure (en valeur absolue) quelle que soit la tranche granulométrique pour le clinker riche en C<sub>3</sub>A, ce dernier se comportant comme un catalyseur de l'hydratation de C<sub>3</sub>S. (tableau 1).

Pour ce même clinker, les pics dits de "mouillage" sont beaucoup plus intenses et plus rapides.

Pour un même clinker et pour une même fraction granulométrique - ou un lot tel quel (0) - les enthalpies sont assez voisines, l'influence du mode de broyage est peu nette (tableau 1). La durée de la période d'induction ou "période dormante" (période précédant l'apparition du pic principal) est indépendante de la finesse du clinker, du type de broyeur et du taux de  $C_3A$ .

Tableau 1 - Mesures de calorimétrie

Type de lot	Echéance pics (h)	Enthalpie 72 h (J/g)	Type de lot	Echéance pics (h)	Enthalpie 72 h (J/g)
BH1	8 - 10,5	579	BB1	7,5	562
BH2	10 - 20	346	BB2	9	304
BH3	9	117	BB3	7	124
BH0	9 - 19	373	BBO	9	323
PH0	10,5 - 20,5	402	PBO	8,5	355
MHO	9 - 22	391	MBO	9	374

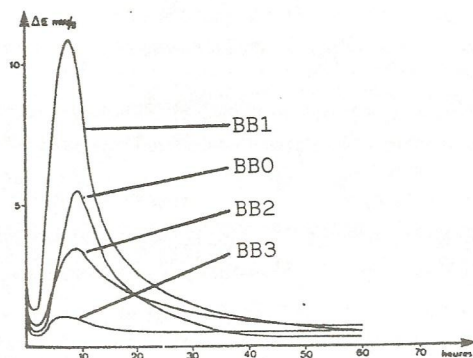
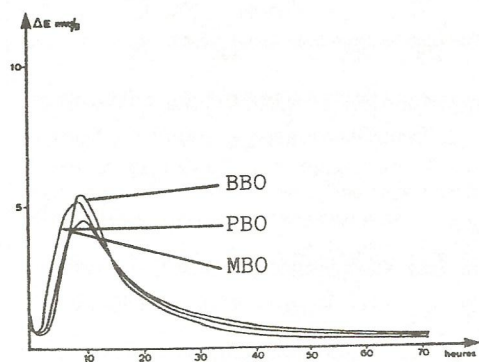
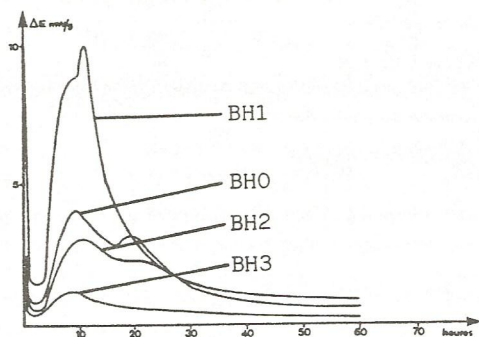
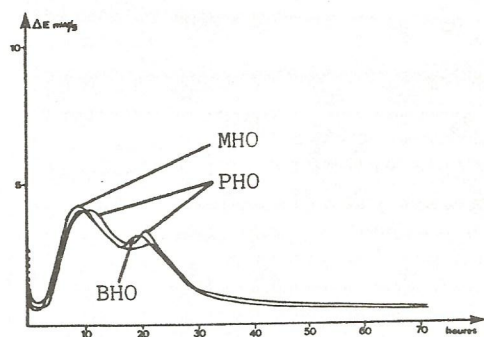
Le tracé des courbes calorimétriques obtenues avec les lots tels quels (0) ainsi qu'avec les différentes tranches granulométriques des deux clinkers pour chacun des deux broyeurs permettent d'observer une grande différence entre les deux clinkers H et B (tableau 1) (figures 1 et 2).

Les courbes correspondant au clinker B présentent un seul pic, dû essentiellement au  $C_3S$ , dont la position est peu influencée par la granulométrie. Par contre, pour le clinker H, deux pics apparaissent, le pic de  $C_3S$  dont l'intensité maximale est inférieure à celle obtenue précédemment, mais toujours situé sensiblement à la même échéance, le deuxième pic correspond aux réactions d'hydratation des aluminates et des sulfates; nous notons que la diminution de la finesse diminue son intensité et le reporte aux plus grandes échéances, si bien que nous constatons sa disparition pour les fractions supérieures à 30 micromètres pour lesquelles le  $C_3A$  "enfermé" entre les silicates n'est pas disponible pour former de l'ettringite avec le gypse avant 72 heures.

Les autres tests de réactivité (pourcentage d'hydrates formés et d'eaux liées, résistances à la compression) effectués à plus long terme ont confirmé l'influence prépondérante de la granulométrie et de la composition minéralogique du clinker.

Le même type de mesures, qui a été envisagé sur des mélanges granulaires binaires comprenant des particules inférieures à 10 micromètres (1) et supérieures à 30 micromètres (3) en proportion variable, montrent des évolutions particulièrement marquées.





Figures 1

Figures 2

### Evolution du dégagement calorifique

Les différentes compositions à 10 %, 20 %, 50 % et 90 % de particules fines (1) sont notées : 1 (10) - 3 (90); 1 (20) - 3 (80); 1 (50) - 3 (50); 1 (90) - 3 (10).

Pour chaque mélange, nous comparons les valeurs expérimentales et les valeurs calculées (par pondération des fractions initiales isolées) des dégagements de chaleur après 72 heures, et les positions des pics. Dans le cas des mélanges grossiers, l'incorporation de particules fines en faible proportion (10 et 20 %) provoque une accélération de la cinétique d'hydratation d'autant plus net que le clinker est riche en  $C_3A$ .

(gain de l'ordre de 30. % du dégagement calorifique)(tableau 2).

Cet effet accélérateur est mis en évidence également par les autres tests de réactivité à des échéances plus longues. Dans ce cas, les gains sont très nets à partir de 7 jours d'hydratation (de l'ordre de 50 % pour les résistances mécaniques en compression et de 30 % pour les taux d'eaux liées par perte au feu) (figures 3).

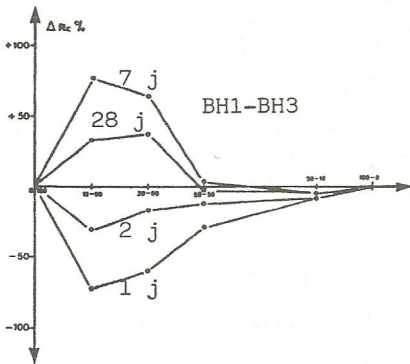
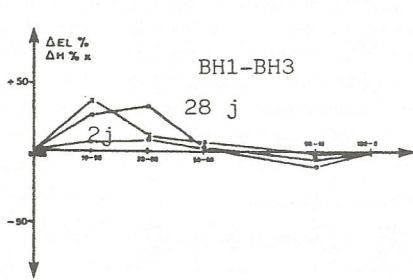
Quelle que soit la fraction granulométrique envisagée, les mélanges de clinker B présentent un pic unique après 7 heures de réaction.

Tableau 2 - Comparaison des valeurs mesurées et  
calculées en calorimétrie pour les mélanges

Type de lot	Echéance pics(h)	$\Delta H$ après 72 h (J/g)		Type de lot	Echéance pics(h)	$\Delta H$ après 72 h (J/g)	
		M *	C **			M *	C **
BH1(10)-BH3(90)	8,5 - 35	225	163 + 38 %	BB1(10)-BB3(90)	7	199	168 + 18,6 %
BH1(20)-BH3(80)	8,5 - 24	231	210 + 10,2 %	BB1(20)-BB3(80)	7	214	212 + 0,1 %
BH1(50)-BH3(50)	8,5 - 14	372	348 + 6,8 %	BB1(50)-BB3(50)	7,5	342	343 + 0,0 %
BH1(90)-BH3(10)	8,5 - 12,5	530	533 - 0,6 %	BB1(90)-BB3(10)	7,5	490	518 - 5,5 %

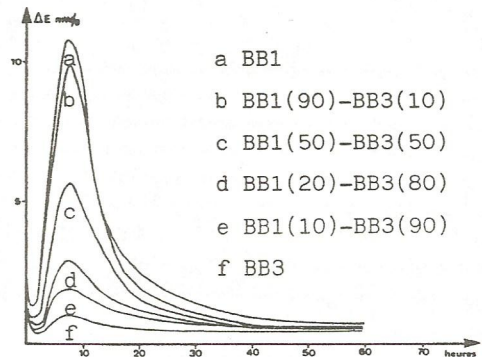
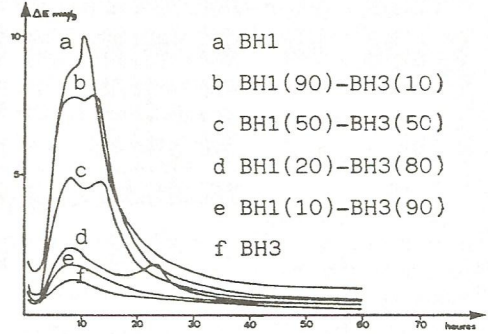
\* Valeur mesurée

\*\* Valeur calculée.



Figures 3

Taux de variation des résultats  
d'enthalpie, d'eaux liées et de  
résistances mécaniques en fonc-  
tion de la teneur en éléments  
fins dans les mélanges.



Figures 4

Evolution du dégagement calori-  
fique des mélanges.

Par contre avec le clinker H, on obtient deux pics d'hydratation. La position du deuxième pic évolue fortement avec la composition du mélange (figures 4).

Ces mesures montrent une évolution du mécanisme d'hydratation; cette évolution, confirmée par des observations microstructurales, explique la différence de comportement des deux clinkers.

L'effet observé sur le clinker H en calorimétrie est attribué à la formation d'ettringite (2ème pic) facilitée par la présence de fines riches en aluminates : leur disponibilité plus grande, dans le cas des mélanges grossiers très poreux, 1(10)-3(90) et 1(20)-3(80), conduit à des concentrations supérieures en  $(Al^{3+})$  et  $(Ca^{2+})$  dans la solution, favorables à la précipitation rapide d'une ettringite donnant une certaine rigidité à la structure.

De plus, la forme allongée des cristaux de  $Ca(OH)_2$  dans le cas du clinker H (arrondie dans le cas du clinker B) est également favorable pour assurer des pontages intergranulaires et donner des résistances mécaniques plus élevées.

Ainsi, les mélanges pour les deux clinkers de composition minéralogique différente, possèdent des cinétiques d'hydratation (dissolution, diffusion, germination, croissance) très particulières qui conduisent à des faciès cristallins également différents :  $(Ca(OH)_2)$ , CSH, ettringite, monosulfoaluminate).

Ce travail a permis de montrer que la cinétique d'hydratation d'un ciment, suivie en particulier aux courtes échéances par des mesures calorimétriques, est probablement limitée par la vitesse de dissolution des produits anhydres qui dépend de leur nature et de leur distribution granulométrique.